

УДК 681.518.3.08

А.О. Новіков, студент гр. ПА-91мп, д.т.н., проф. Володарський Є.Т.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА КОРЕЛЯЦІЯ ВХІДНИХ ВЕЛИЧИН У БАГАТОКАНАЛЬНИХ ІВС

Анотація. В статті наведено аналіз впливу інструментальної кореляції ІВС з послідовно-паралельною структурою на невизначеність результату перетворення.

Ключові слова: невизначеність, вимірювання, похибка, кореляція, ІВС.

ВСТУП

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) є сукупністю технічних засобів для отримання вимірювальної інформації, її перетворення та обробки. ІВС бувають одноканальні та багатоканальні. В багатоканальних ІВС найчастіше застосовують послідовно-паралельну структурну організацію. При цьому використовується один вимірювальний канал (ВК), до якого з виходів первинних перетворювачів, відповідно до обраного алгоритму, подається уніфікований сигнал, пропорційний вимірюваній фізичній величині. В результаті функціональної обробки результатів вимірювального перетворення окремих фізичних величин, з'являється стохастичний зв'язок між вихідними величинами ВК, рознесеними в часі [1]. Це обумовлено тим, що неточність ВК є спільною впливовою величиною при формуванні результату, а вхідні величини ВК можуть приймати будь-яке значення у заданому діапазоні. У загальному випадку, не ідеальність характеристики перетворення. ВК може характеризуватися як адитивною, так і мультиплікативною складовою. В цій статті наводиться аналіз впливу адитивної складової.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета статі – привести аналіз внеску інструментальної кореляції двох функціонально пов'язаних вхідних величин у невизначеність результату перетворення за наявності адитивного зміщення реальної характеристики перетворення ВК.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

У випадку, коли при проведенні експериментальних досліджень використовуються одні й ті ж еталони, засоби вимірювань, стандартні дані і навіть метод вимірювання, вхідні величини, над якими в подальшому здійснюється функціональне перетворення, часто бувають корельованими [2]. Припустимо, що дві вхідні величини X_1 і X_2 , оцінки яких x_1 і x_2 , залежать від ряду некорельованих змінних Q_1, Q_2, \dots, Q_L . Таким чином $X_1 = F(Q_1, Q_2, \dots, Q_L)$ і $X_2 = G(Q_1, Q_2, \dots, Q_L)$, хоча деякі з цих змінних можуть з'являтися в одній функції і не з'являтися в іншій. Якщо $u^2(q_l)$ є оцінкою дисперсії, пов'язаної з q_l чи Q_l , то оцінкою дисперсії, пов'язаної з x_j ($j=1,2$), буде.

$$u^2(x_j) = \sum_{l=1}^L \left[\frac{\partial F}{\partial q_l} \right]^2 u^2(q_l) \quad (1)$$

Оцінка ж стохастичного зв'язку (коваріація) знаходиться з виразу:

$$u(x_1, x_2) = \sum_{l=1}^L \frac{\partial F}{\partial q_l} \frac{\partial G}{\partial q_l} u^2(q_l) \quad (2)$$

Оскільки в суму включаються тільки ті члени, для яких $\partial F/\partial q \neq 0$ і $\partial G/\partial q \neq 0$, так як коваріація дорівнює нулю, якщо немає змінних, що є загальними як для F , так і для G .

Так як для ІВС зміщення характеристики є спільною впливовою величиною при функціональному перетворенні результатів вимірювання вхідних величин. Простим прикладом може бути обчислення потужності за результатами вимірювання струму та напруги.

Дослідження впливу коваріації на невизначеність обчислення результату вимірювання виконувалось, у першу чергу, на основі аналізу «поведінки» функцій відношення квадрату сумарної стандартної невизначеності результату вимірювання з інструментальною кореляцією, яка є додатковою складовою, до квадрату невизначеності без неї [3]. При цьому вихідним є співвідношеннями між коефіцієнтами у модельному рівнянні та (у деяких випадках) від можливих значень вхідних величин.

На рис. 1 зображено графік впливу коваріації на невизначеність результату вимірювання для випадку, коли згідно модельного рівняння виконується операція додавання. Сумарна стандартна невизначеність має вигляд.

$$[(a^2 + b^2)u^2(\Delta) + 2abu^2(\Delta)]^{(1/2)} \quad (3)$$

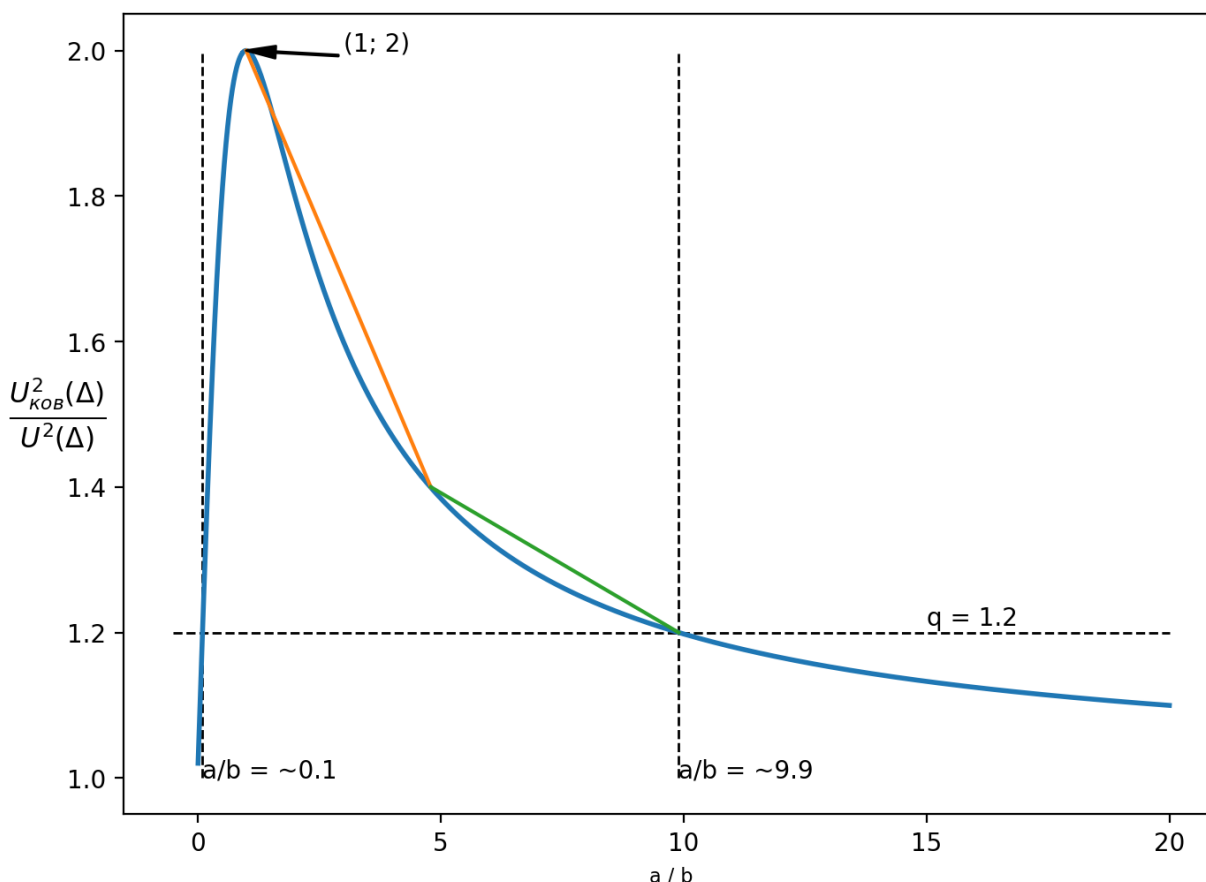


Рис. 1. Графік залежності відносного внеску коваріації в невизначеність результату вимірювання від коефіцієнтів модельного рівняння перетворення для функції додавання

З графіку, представленого на рисунку, видно, що зі зростанням відношення q коефіцієнтів a та b масштабування результатів вимірювального перетворення, вплив інструментальної кореляції асимптотично прямує до нуля, і досягає максимуму в 100% при $a = b$. Допустимо, що встановлено, що при $q < 1$. впливом інструментальної кореляції можна знехтувати. можна перейти до лінійної апроксимації залежності, як показано на рисунку [4]. Це у подальшому дозволить спростити розрахунки.

Для випадку, коли згідно модельного рівняння виконується операція віднімання, сумарна стандартна невизначеність має наступний вигляд.

$$[(a^2 + b^2)u^2(\Delta) - 2abu^2(\Delta)]^{1/2} \quad (4)$$

На рис. 2 зображено графік впливу коваріації для цього випадку.

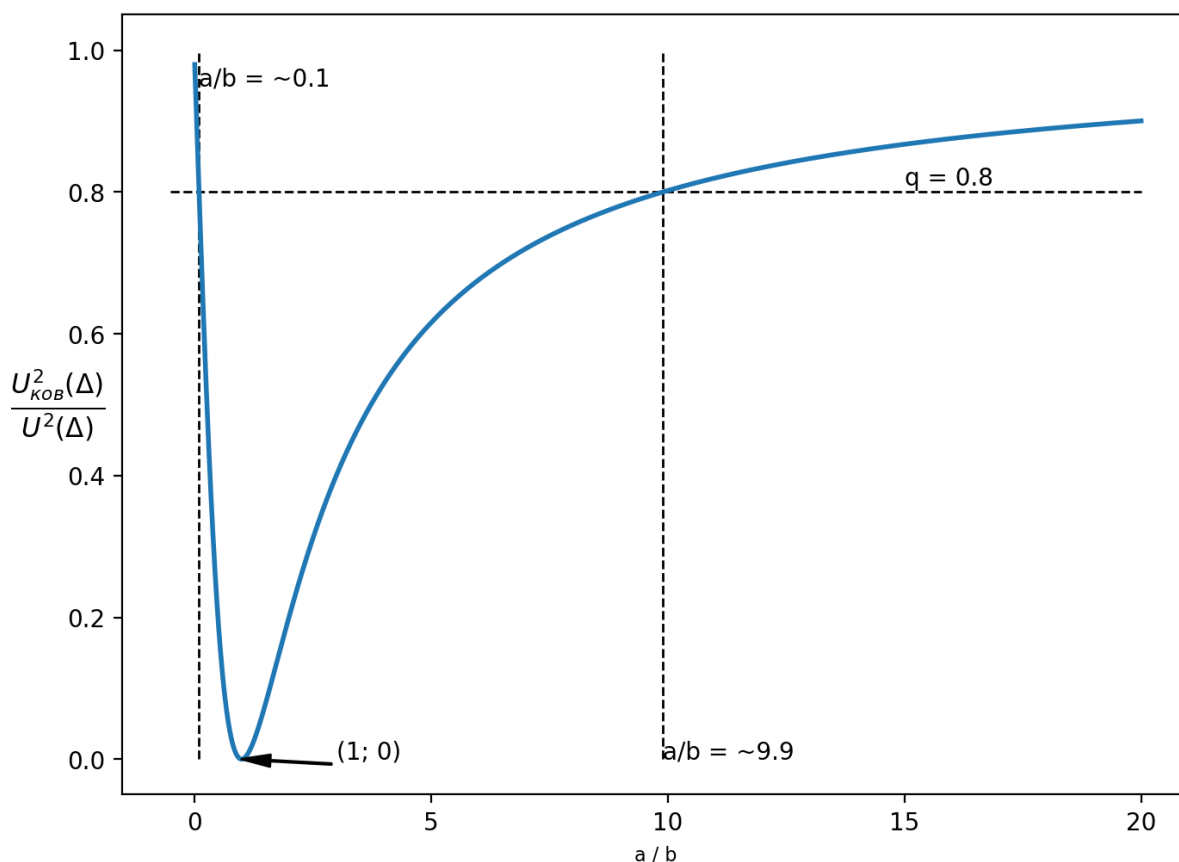


Рис. 2. Графік залежності відносного внеску коваріації в невизначеність результату вимірювання від коефіцієнтів модельного рівняння перетворення для функції віднімання

З графіку на рис. 2 видно, що ключові точки функції набувають при одних і тих же значеннях відношень коефіцієнтів модельного рівняння, як при операції додавання. Однак, на відміну від додавання, при $a = b$ вплив кореляції відсутній, а зі зростанням відношення – прямує до 100%.

Коли згідно модельного рівняння виконується операція множення, сумарна стандартна невизначеність має такий же вигляд, як і при операції додавання (3). Тому аналіз для цього випадку буде аналогічним (рис. 1).

При виконанні операції ділення, сумарна стандартна невизначеність має наступний вигляд.

$$\frac{a}{b} \frac{1}{x_2^2} [(x_1^2 + x_2^2) u^2(\Delta) - 2x_1 x_2 u^2(\Delta)]^{(1/2)} \quad (5)$$

У цьому випадку внесок коваріації залежить не від коефіцієнтів модельного рівняння a і b , а від значень результату вимірювання. Для дослідження відносного внеску коваріації на невизначеність результату вимірювання частина виразу, що не знаходиться під коренем не є суттєвою, бо однакова як для невизначеності з урахуванням коваріації, так і без неї. В результаті отримаємо випадок подібний до операції віднімання (рис. 2), але від відношення x_1/x_2 .

Даний аналіз можна провести і для випадку мультиплікативної похибки.

Результати, що отримані при проведенні дослідження, можуть бути використані під час експлуатації ІВС при прийнятті рішення про необхідність врахування складової невизначеності, обумовлену інструментальною кореляцією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ІВС та невизначеність отримуваних результатів / Володарський Є. Т., Добролюбова М. В., Кошева Л. О // Метрологія та вимірювальна техніка : XII міжнародна науково-технічна конференція, 6 – 8 жовтня 2020 р. : тези доповідей : ННЦ «Інститут метрології», 2020. – с. 134.
- [2] Руководство по выражению неопределенности измерения. Русский перевод. Научный редактор Слаев В.А. – Санкт-Петербург. - НПО ВНИИМ им. Менделеева, 1999, - 134 с.
- [3] Непевність результатів вимірювань, контролю та випробувань : підручник / О. М. Васисилевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. - Херсон: "ОЛДІ-ПЛЮС", 2020. - 352 с.
- [4] Володарский Е.Т. Обоснование целесообразности применения экспериментального подхода к оценке неопределенности количественных результатов лабораторных испытаний / Е.Т. Володарский, Л.А. Кошечая // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 3. – С. 8–12.

Наук. Керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.